

①9 BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES  
PATENTAMT

⑫ Offenlegungsschrift  
⑩ DE 196 27 385 A 1

⑤1 Int. Cl.º:  
G 01 L 1/22  
G 01 L 3/14  
G 01 L 5/20

②1 Aktenzeichen: 198 27 385.4  
②2 Anmeldetag: 6. 7. 96  
④3 Offenlegungstag: 8. 1. 98

DE 196 27 385 A 1

⑦1 Anmelder:  
Bayerische Motoren Werke AG, 80809 München, DE

⑦2 Erfinder:  
Ferrufino-Camacho, David Alfredo, 84130 Dingolfing,  
DE; Kuchler, Maximilian, 80689 München, DE; Meier,  
Hubert, 85221 Dachau, DE; Nohl, Friedrich, 82061  
Neuried, DE

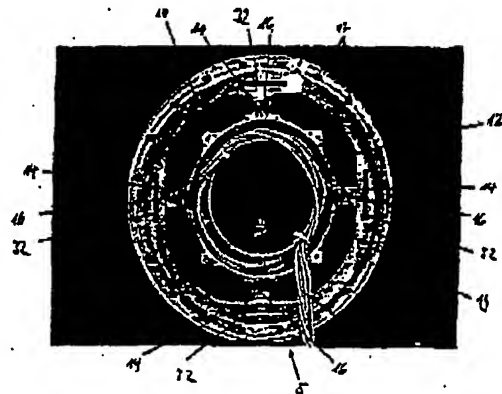
⑤6 Für die Beurteilung der Patentfähigkeit  
in Betracht zu ziehende Druckschriften:

DE 44 30 503 C1  
DE 37 15 472 C2  
DE 27 08 484 C2  
DE-AS 21 04 003  
DE 43 11 903 A1  
DE 42 08 522 A1  
DE 38 38 810 A1  
DE 36 27 381 A1  
DE 32 13 319 A1  
DE 82 29 629 U1

GB 20 39 083 A  
US 49 69 386  
EP 05 75 634 A1  
WO 92 18 840 A1

⑤4 Radmeßnabe

⑤7 Die Erfindung betrifft eine Radmeßnabe mit einem Meßwertaufnehmer (5), der ein äußeres (10) und ein inneres (12) Ringteil umfaßt, wobei an dessen äußeren Ringteil (10) eine Feige anordenbar ist, an dessen innerem Ringteil (12) ein Radflansch anordenbar ist und beide Ringteile (10, 12) über radial verlaufende Meßstege (14) miteinander verbunden sind, an denen Dehnmeßstreifen (16) zur Bestimmung von zu messenden Kräften und Momenten angeordnet sind.  
Aufgabe der Erfindung ist es, eine solche Radmeßnabe zu entwickeln, daß präzise die Bestimmung der drei auftretenden Kräfte  $F_x$ ,  $F_y$  und  $F_z$  sowie der dazugehörigen Momente  $M_x$ ,  $M_y$  und  $M_z$  in optimaler Weise erreicht werden kann. Dies wird dadurch erreicht, daß die Dehnmeßstreifen derart angeordnet, ausgerichtet und miteinander verschaltet sind, um alle Kräfte und Momente über die bei Belastung auftretende Schubspannungen zu ermitteln.



DE 196 27 385 A 1

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

BUNDESDRUCKEREI 11. 97 702 082/714

18/24

Die Erfindung betrifft eine Radmeßnabe gemäß dem Oberbegriff des Anspruchs 1.

Aus der DE-OS 23 02 540 ist eine Meßnabe beschrieben mit einem äußeren Ringteil, einem inneren Ringteil und vier Meßstegen, welche beide Ringteile miteinander verbinden und jeweils 90° zueinander winkelformig versetzt sind. An den Meßstegen sind Dehnmeßstreifen angeordnet, um die auf die Radmeßnabe einwirkenden Kräfte erfassen zu können.

Aus der DE-OS 32 13 319 ist ebenfalls eine Radmeßnabe mit einem zentralen Nabenteil, einem starren, ringförmigen Felgenteil und vier Speichenteilen bekannt. Die vier Speichenteile erstrecken sich vom Nabenteil im rechten Winkel zueinander radial nach außen und besitzen jeweils einen rechtwinkligen Querschnitt. Ferner sind vier Sehnenteile vorgesehen, die mittig mit den äußeren Enden entsprechender Speichenteile und mit ihren beiden Enden mit jeweiligen Felgenteilen verbunden sind. Zur Messung der auf die Radmeßnabe einwirkenden Kräfte sind an den vier Speichenteilen Dehnmeßstreifen vorgesehen, die — in entsprechenden Brückenschaltungen verbunden — die entsprechenden Signale für die einzelnen, zu ermittelnden Kräfte und Momente liefern.

Mit den jeweiligen, in den obengenannten Offenlegungsschriften beschriebenen Radmeßnaben ist es jedoch nicht zufriedenstellend möglich, die zu erfassenden Kräfte und Momente, nämlich die Radlängskraft  $F_x$ , die Radaufstandskraft  $F_z$ , die Radseitenkraft  $F_y$ , das Sturzmoment  $M_x$ , das Rückstellmoment  $M_z$  sowie das Bremsmoment  $M_y$ , getrennt und unbeeinflusst voneinander sowie unter Ausschließung von äußeren Umwelteinflüssen zu messen.

Aufgabe der Erfindung ist es, eine Radmeßnabe der eingangs genannten Art derart weiterzubilden, daß die zu ermittelnden Kräfte und Momente ohne gegenseitige Beeinflussung präzise ermittelt werden können. Insbesondere sollte die Raddrehzahl hochaufgelöst ermittelt werden.

Diese Aufgabe wird durch die im Anspruch 1 angegebenen Merkmale gelöst.

Demgemäß werden bei einer Radmeßnabe der eingangs genannten Art die Dehnmeßstreifen an den Meßstegen derart angeordnet, ausgerichtet und miteinander verschaltet, daß alle Kräfte und Momente ausschließlich über die bei Belastung auftretende Schubspannung ermittelt werden können. Mit dieser Maßnahme ist es möglich, die einzelnen Kraft- und Momentenkomponenten in optimaler Weise voneinander zu entkoppeln und separat zu erfassen. Der Vorteil dieser Meßmethode wird nachfolgend noch erläutert.

Gemäß einer vorzugsweisen Ausführungsform der Erfindung werden im Bereich des Übergangs zwischen den Meßstegen und dem äußeren Ringteil Durchbrüche oder Langlöcher angeordnet. Dies ermöglicht über die vorgenannte Maßnahme hinaus eine nochmals bessere Entkopplung der entsprechenden Kräfte und Momente, so daß in die einzelnen Meßstege, seien sie senkrecht zur oder in Fahrtrichtung ausgerichtet, nur eine Art von Kräften und Momenten eingeleitet wird. Die Dimensionierung der Durchbrüche bzw. Langlöcher geschieht dabei vorzugsweise so, daß die Kräfte- und Momententrennung sowie eine erhebliche Erhöhung der Meßempfindlichkeit optimal erreicht wird.

Es ist gemäß einer vorzugsweisen Ausführungsform der Erfindung eine Signalaufbereitungs-, Übertragungs-

und Auswerteeinrichtung vorgesehen, welche die mittels der Dehnmeßstreifen gewonnenen Daten von der rotierenden Radmeßnabe während eines Meßvorgangs auf ein fahrzeugfestes Teil überträgt.

Dazu kann auch eine Funkübertragung verwendet werden. Alternativ kann die Übertragung mittels einer Infrarotmetrietransferübertragungseinrichtung durchgeführt werden. Dies erlaubt die Vielzahl der anfallenden Daten schnell und fehlerlos von der rotierenden Meßnabe auf ein entsprechendes Meßdatenerfassungsgerät im Fahrzeug zu übermitteln.

Zur Auswertung der entsprechenden Signale der Dehnmeßstreifen auf den Meßstegen ist es erforderlich, die Stellung des Rades am Fahrzeug bzw. des Meßwertgebers genau zu kennen, so daß gesagt werden kann, ob die Meßstege senkrecht zur oder in Fahrtrichtung ausgerichtet sind. Dazu wird vorzugsweise zumindest ein Hallsensor vorgesehen, der mit einem mit dem Meßwertempfänger verbundenen Impulsring zusammenwirkt. Von einer Steuerelektronik können die vom Hallsensor gelieferten Daten ausgewertet und dadurch auf die Stellung des Meßwertempfängers geschlossen werden. Der Impulsring kann beispielsweise an dem äußeren Ringteil des Meßwertempfängers befestigt sein. Der Hallsensor ist fahrzeugfest angeordnet. Alternativ können auch andere Winkelstellung-Erfassungseinrichtungen verwendet werden.

Gemäß einer bevorzugten Ausführungsform der Erfindung werden zwei Hallsensoren vorgesehen, die derart zueinander winkelformig versetzt sind, um eine Drehrichtungserfassung zu ermöglichen. Damit kann nicht nur die Absolutstellung der Radmeßnabe und durch die Codierung des Impulsringes der 0° Winkel des Meßsystems, sondern auch die Drehrichtung ohne weiteres ermittelt werden.

Eine Steuerungsvorrichtung kann ferner im inneren Ringteil aufgenommen sein, so daß bereits ausgewertete Daten über die Übertragungseinrichtung an eine weitere Steuer- und Auswerteeinheit im Fahrzeug übertragbar sind. Die übertragenen Meßsignale können zur Entwicklung und Steuerung von Fahrdynamikregelsystemen verwendet werden.

In einer Gruppe von Ansprüchen ist dargestellt, inwieweit die nur Schubspannungen erfassenden Dehnmeßstreifen angeordnet sind, um die zu ermittelnden Kräfte und Momente in geeigneter Weise erfassen zu können. Insbesondere sind dabei auch Anordnungsmöglichkeiten aufgezeigt, um die Dehnmeßstreifen zu Vollbrückenschaltungen miteinander zu verschalten, so daß eine besonders gut auflösende und präzise Meßanordnung sichergestellt ist. Die entsprechenden Vorteile und Merkmale werden nachfolgend noch weiter beschrieben werden.

Von Vorteil ist es ferner, wenn die Dehnmeßstreifen an den Meßstegen abgedeckt sind, beispielsweise mittels Verkleiden der Meßstege, so daß Umwelteinflüsse (beispielsweise die Strahlungswärme im Umfeld der Radmeßnabe bei einem Bremsvorgang) keine Auswirkungen auf die Meßergebnisse haben können. Dennoch sollte auf eine ausreichende Kühlung geachtet werden.

Die Erfindung wird nachfolgend — auch in Hinblick auf weitere Vorteile und Merkmale der Erfindung — anhand von beiliegenden Zeichnungen erläutert, in denen

Fig. 1 eine schematische Draufsicht auf den Meßwertempfänger einer erfindungsgemäßen Radmeßnabe mit auf den Meßstegen angeordneten Dehnmeßstreifen zeigt,

Fig. 2 eine perspektivische Ansicht mit T-Querschnitt einer erfindungsgemäßen Radmeßnabe zeigt, wobei ein Impulsring sowie eine am inneren Ringteil angeordnete Daten- und Energieübertragungselektronik zu erkennen ist und der teilweise gehäuseförmig ausgebildete innere Ringteil (Innenring) die Elektronikplatinen für Meßverstärker und Rechenprozessoren darstellt.

Fig. 3 ein Schaltschema zeigt, gemäß welchem die Signalaufbereitung und -verarbeitung durchgeführt werden kann.

Fig. 4 eine Prinzip-Darstellung eines Rades mit den darauf einwirkenden Kräften und Momenten ist.

Fig. 5 eine Prinzip-Darstellung eines Meßstabs zeigt, an dem Dehnmeßstreifen zur Erfassung von Schubspan-

gleich ist im inneren Ringteil 12 ein Bauraum 19 vorhanden, in dem die Elektronikplatinen für DMS-(Dehnmeßstreifen)-Verschaltungen, Meßverstärker und Rechenprozessoren aufgenommen sind, welche die Verbindung zur Daten- und Energieübertragungselektronik 23 herstellt.

In den Fig. 1 und 2 sind ferner vier Langlöcher 32 zu erkennen, die jeweils zwischen den Meßstegen 14 sowie dem äußeren Ringteil 10 derart angeordnet sind, daß eine speichenartige Verbindung entsteht, wobei die Speichenenden in das äußere Ringteil 10 übergehen und das Speichenmittelteil mit dem jeweiligen Meßsteg 14 verbunden ist.

Zum besseren Verständnis wird nunmehr auf ein-

Fig. 2 eine perspektivische Ansicht mit Teilschnitt einer erfindungsgemäßen Radmeßnabe zeigt, wobei ein Impulsring sowie eine am inneren Ringteil angeordnete Daten- und Energieübertragungselektronik zu erkennen ist und der teilweise gehäuseförmig ausgebildete innere Ringteil (Innenring) die Elektronikplatinen für Meßverstärker und Rechenprozessoren darstellt.

Fig. 3 ein Schaltschema zeigt, gemäß welchem die Signalaufbereitung und -verarbeitung durchgeführt werden kann.

Fig. 4 eine Prinzip-Darstellung eines Rades mit den darauf einwirkenden Kräften und Momenten ist.

Fig. 5 eine Prinzip-Darstellung eines Meßstabs zeigt, an dem Dehnmessstreifen zur Erfassung von Schubspannungen angeordnet sind.

Fig. 6a eine schematische Darstellung der an einem Meßwertempfänger vorhandenen Meßstegflächen ist, wobei die Anordnung und Verschaltung der Dehnmessstreifen im Hinblick auf die Erfassung der Längskraft  $F_x$  hervorgeht.

Fig. 6b eine Schaltanordnung der Dehnmessstreifen aus Fig. 6a in einer Vollbrückenschaltung ist.

Fig. 7a eine Darstellung wie Fig. 6a, wobei die Anordnung und Verschaltung der Dehnmessstreifen im Hinblick der Erfassung der Radaufstandskraft  $F_z$  dargestellt ist.

Fig. 7b eine Schaltanordnung wie Fig. 6b ist, wobei die Verschaltung der Dehnmessstreifen entsprechend Fig. 7a erfolgt ist.

Fig. 8a eine Darstellung wie Fig. 6a ist, jedoch mit der Anordnung und Verschaltung der Dehnmessstreifen zur Erfassung der Radseitenkraft  $F_y$ .

Fig. 8b eine Schaltanordnung in einer Vollbrückenschaltung ist, die die Verschaltung der Dehnmessstreifen in Fig. 8a wiedergibt.

Fig. 9a eine Darstellung wie Fig. 6a ist, jedoch mit einer Anordnung und Verschaltung der Dehnmessstreifen zur Erfassung des Sturzmoments  $M_x$ .

Fig. 9b eine elektrische Schaltanordnung ist, wobei die Verschaltung der Dehnmessstreifen gemäß Fig. 9a in einer Vollbrückenschaltung dargestellt ist.

Fig. 10a eine Darstellung wie Fig. 6a zeigt jedoch mit einer Anordnung und Verschaltung der Dehnmessstreifen zur Erfassung des Rückstellmoments  $M_z$ .

Fig. 10b eine elektrische Schaltanordnung in einer Vollbrückenschaltung zeigt, wobei die Verschaltung gemäß Fig. 10a nochmals dargestellt ist.

Fig. 11a eine Darstellung wie Fig. 6a zeigt, jedoch mit der Anordnung und Verschaltung von Dehnmessstreifen zur Erfassung des Bremsmoments  $M_y$  und

Fig. 11b eine Schaltanordnung in Vollbrückenschaltung zeigt, die der Verbindung der Dehnmessstreifen in Fig. 11a entspricht.

In Fig. 1 ist ein Ausführungsbeispiel eines Meßwertempfängers 5 einer Radnabe dargestellt, der den zentralen Teil einer solchen Meßvorrichtung bildet. Insbesondere ist ein äußeres Ringteil 10 und ein inneres Ringteil 12 zu erkennen sowie die beide Ringteile verbindenden Meßstege 14, auf welchen auf den entsprechenden Flächen Dehnmessstreifen 16 angeordnet sind. Sowohl auf die Anordnung als auch die Verschaltung der entsprechenden Dehnmessstreifen 16 wird nachfolgend noch eingegangen werden.

Im äußeren Ringteil 10 sind Bohrungen 17 vorgesehen, über die mittels Schrauben 20 eine nicht dargestellte Felge eines Rades befestigt werden kann.

Am inneren Ringteil 12 wird ein Radflansch 18 (Fig. 2) befestigt, der auf der Achse des Fahrzeugs aufsitzt. Zu-

gleich ist im inneren Ringteil 12 ein Bauraum 19 vorhanden, in dem die Elektronikplatinen für DMS-(Dehnmessstreifen)-Verschaltungen, Meßverstärker und Rechenprozessoren aufgenommen sind, welche die Verbindung zur Daten- und Energieübertragungselektronik 23 herstellt.

In den Fig. 1 und 2 sind ferner vier Langlöcher 32 zu erkennen, die jeweils zwischen den Meßstegen 14 sowie dem äußeren Ringteil 10 derart angeordnet sind, daß eine speichenartige Verbindung entsteht, wobei die Speichenenden in das äußere Ringteil 10 übergehen und das Speichenmittellteil mit dem jeweiligen Meßsteg 14 verbunden ist.

Zum besseren Verständnis wird zunächst auf einige Grundsätze eingegangen.

An einem Fahrzeugrad 50 greifen bei Belastung äußere Kräfte und Momente an. Es sind dies — wie aus Fig. 4 zu erkennen ist — die Längskraft  $F_x$  in Richtung der X-Achse, die Seitenkraft  $F_y$  in Richtung der Y-Achse und die Radaufstandskraft  $F_z$  in Richtung der Z-Achse. Ferner treten dazugehörige Momente auf, wie das Sturzmoment  $M_x$  um die X-Achse, das Brems-Antriebsmoment  $M_y$  um die Y-Achse und das Rückstellmoment  $M_z$  um die Z-Achse. Alle Größen müssen simultan erfaßt werden. Dabei mißt ein Dehnmessstreifen in der Tat die Dehnung und nicht die Kraft. Er muß also so konstruiert und angeordnet sein, daß die zu messende Kraft im Meßelement eine geeignete Materialspannung erzeugt. Abhängig davon wird eine entsprechende Dehnung hervorgerufen, die der durch die auftretenden Kräfte verursachten Verformung entspricht. Der Zusammenhang zwischen eingeleiteter Kraft und dem gemessenen Signal soll linear und hysteresefrei sein. Ferner geht man bei der Berechnung von Biegestäben von idealen Biegebalken aus. Daher muß eine von den Hebelverhältnissen unabhängige Lösung erarbeitet werden, wozu sich die Aufnahme der Meßsignale mittels auf Schubspannung applizierter Dehnmessstreifen eignet. Diese Messungsart bildet das Kernstück der vorliegenden Meßanordnung.

Allgemein wirken bei den Normalspannungen die in entgegengesetzten Richtungen auftretenden Zug- oder Druckkräfte immer in der gleichen Achse. Sie versuchen, den Werkstoff zu dehnen oder zu stauchen.

In ähnlicher Weise, wie beim Torsionsstab die Schubspannungen in Verbindung mit einem Drehmoment auftreten, so entstehen sie beim Scherstab in Verbindung mit einem Biegemoment. In Fig. 5 ist ein einseitig eingespannter Balken dargestellt, der im Abstand  $l$  mit einer Kraft  $F$  belastet wird. Durch die gleich große Reaktionskraft an der Einspannstelle entsteht ein entgegengesetzt gerichtetes Kräftepaar.

Die mit den Schubspannungen einhergehenden Normalspannungen verlaufen — wie beim Torsionsstab — unter einem Winkel von  $45^\circ$  zur Schubebene. Gleichzeitig bewirkt die Kraft  $F$  mal der Strecke  $l$  ein Biegemoment; die davon erzeugte Biegespannungen überlagern sich den Normalspannungen. Deshalb gilt die Winkelangabe  $\pm 45^\circ$  exakt nur in Höhe der neutralen Faserschicht, wo die Biegespannungen zu Null werden. Zu den Rändern hin dreht sich das Achsenkreuz, so daß die Randspannungen parallel zu den Rändern verlaufen. Es ist deshalb wichtig, die Dehnmessstreifen (DMS1—DMS4 in Fig. 5) so nahe wie möglich an die neutrale Faser heran zu bringen. In zweiachsigen Dehnungsfeldern werden Dehnmessstreifen mit mehreren Gittern, die über oder nebeneinander in bestimmten Richtungen angeordnet sind, eingesetzt. Die minus  $45^\circ$

zur Längsachse eingebetteten Gitter eignen sich im besonderen zur Messung der Schubspannung auf der Oberfläche von Meßkörpern. Beim vorliegenden Ausführungsbeispiel werden auf den Meßkörpern zur Aufnahme der sechs Komponenten (drei Kräfte und drei Momente) insgesamt achtzig Dehnmeßstreifen appliziert.

Dehnmeßstreifen sind passive Aufnehmer, die gleich- oder wechselstromgespeist werden. Die jeweilige Dehnung verursacht eine kleine Widerstandsänderung in den Dehnmeßstreifen, die anhand einer Spannungsänderung ermittelt werden kann. Als Grundschaltung wird eine Wheatstone-Brücke angewandt, die in Fig. 5 als Vollbrücke dargestellt ist. Diese wird durch vier sogenannte Brückenarme gebildet, wobei in Fig. 5 jeder Dehnmeßstreifen jeweils einem Widerstand zugeordnet ist (DMS1 = R1, etc.). Einer Brückendiagonalen wird die Brückenspeisespannung P (auch U<sub>E</sub>) zugeführt. An den anderen wird die Signalausgangsspannung F (auch U<sub>A</sub>) abgegriffen.

Anhand Fig. 5 soll das Meßprinzip mittels Schubspannungen erläutert werden. Die Dehnungswerte benachbarter Brückenarme subtrahieren sich bei gleichsinniger Dehnung und addieren sich bei gegensinniger. Um eine sehr gute Empfindlichkeit zu erhalten, müssen also sämtliche Dehnungsmeßstreifen, die eine positive Widerstandsänderung (Dehnung) ergeben, in den zueinander gegenüberliegenden Brückenarmen verschaltet werden. Dementsprechend müssen die Dehnmeßstreifen, die eine negative Widerstandsänderung (Stauchung) erfahren, in den benachbarten Brückenarmen appliziert werden. Folglich addieren sich die Dehnungswerte aller Dehnungsmeßstreifen und der Wert des Signals ist größer, als das bei einem einzelnen Dehnungsmeßstreifen der Fall ist.

Dadurch kompensieren sich Biegedehnungen, Wärmedehnungen, Dehnungen aus Zug- und Druckkräften automatisch.

Beim vorliegenden Ausführungsbeispiel sind jeweils zwei Dehnmeßstreifen in geeigneter Ausrichtung auf einer Trägerfolie angeordnet. Wie nachfolgend nochmals näher erläutert wird, werden acht Dehnmeßstreifen zur Aufnahme der Komponente F<sub>x</sub> auf der Vorder- und Rückseite von Meßstegen 1 und 2 und acht Dehnmeßstreifen für die Messung der Kraft F<sub>z</sub> auf der Vorder- und Rückseite von Meßstegen 3 und 4 appliziert. Zur Messung der Seitenkraft F<sub>y</sub> werden insgesamt sechzehn Dehnmeßstreifen mittig auf der linken und rechten Seite aller Meßsteg geklebt (Fig. 6a—8b).

Zur Signalaufnahme des Momentes M<sub>x</sub> kommen wie bei F<sub>x</sub> die Meßsteg 1 und 2 zum Einsatz, jedoch werden auf der linken und rechten Seite dieser Meßsteg jeweils vier DMS (Dehnmeßstreifen) angebracht und verschaltet. Die gleiche Schaltung wird bei der Messung des Momentes M<sub>z</sub> auf den Meßstegen 3 und 4 verwendet.

Das Signal des Brems-Antriebsmomentes M<sub>y</sub> wird durch sechzehn auf der Vorder- und Rückseite aller Meßsteg geklebten Dehnmeßstreifen aufgenommen (vgl. Fig. 9a—11b).

Die Anordnung der Dehnmeßstreifen erfolgt unter Verwendung eines heißaushärtenden Klebers, und nach dem Aushärten werden die Meßstellen mit einem Polyurethan-Lack überzogen. Dieser Überzug dient als Schutz vor Feuchtigkeit und anderen Umwelteinflüssen.

Die Wheatstone'sche Brückenschaltung kann sowohl mit Gleichspannung als auch mit Wechselspannung gespeist werden.

Nachfolgend soll die genauere Anordnung und Verschaltung der Dehnmeßstreifen zur Erfassung der drei Kräfte und der drei Momente nochmals im einzelnen anhand der Fig. 6—11 erläutert werden. In diesen Figuren ist jeweils ein Verdrahtungsplan der DMS-Brücken der Radmeßnabe schematisch dargestellt, wobei auch die Ausrichtung durch die Angabe des Koordinatensystems (X-Richtung, Z-Richtung und Y-Richtung) klar definiert ist. Bezüglich dieses Koordinatensystems sind in den Fig. 6—11 oben, unten, rechts und links die entsprechenden Meßsteg 1 bis 4 durch jeweils eine Abbildung ihrer vier Flächen dargestellt, wobei die Flächen F<sub>1,1</sub>, F<sub>1,2</sub>, F<sub>1,3</sub>, F<sub>1,4</sub>, F<sub>2,1</sub>, F<sub>2,2</sub>, F<sub>2,3</sub>, F<sub>2,4</sub>, F<sub>3,1</sub>, F<sub>3,2</sub>, F<sub>3,3</sub>, F<sub>3,4</sub>, F<sub>4,1</sub>, F<sub>4,2</sub>, F<sub>4,3</sub>, F<sub>4,4</sub> jeweils parallel zur Radialfläche der Radmeßnabe bzw. des Meßwertaufnehmers ausgerichtet sind. Die übrigen Flächen F<sub>1,1</sub>, F<sub>1,3</sub>, F<sub>2,1</sub>, F<sub>2,3</sub>, F<sub>3,1</sub>, F<sub>3,3</sub>, F<sub>4,1</sub>, F<sub>4,3</sub> sind jeweils senkrecht zur Radialebene ausgerichtet, jedoch sind sie in den Fig. 6—11 jeweils in einer Bildebene dargestellt, um die Anordnung und die Verschaltung der jeweiligen Dehnmeßstreifen genau darstellen zu können.

Das Signal der Längskraft F<sub>x</sub> wird unter Verwendung einer DMS-Vollbrückenschaltung aufgenommen. Diese Vollbrücke besteht — wie aus den Fig. 6a und 6b zu erkennen ist — aus vier Zweigen mit jeweils zwei in Serie geschalteten Dehnmeßstreifen. Die genaue Anordnung und Verschaltung ist der Fig. 6a im Detail zu entnehmen. An die mit ±P gekennzeichneten Anschlüssen wird die Versorgungsspannung angelegt und an den mit ±F<sub>x</sub> gekennzeichneten Anschlüssen das Meßsignal abgenommen.

In Fig. 6b ist ein Schaltbild einer Vollbrückenschaltung dargestellt, wobei die einzelnen Dehnmeßstreifen Fx1 bis Fx8 an den in Fig. 6a angegebenen Meßstegen bzw. Meßstegflächen angeordnet sind.

Anhand der Fig. 6a und 6b wird deutlich, daß die Dehnmeßstreifen Fx1, Fx3, Fx5 und Fx7 bei Einwirkung einer Längskraft F<sub>x</sub> in positiver Richtung die gleiche Verformung erfahren, nämlich eine positive Widerstandsänderung (Dehnung). Auf diese Weise wird die Lage dieser Dehnmeßstreifen in der Vollbrücke bestimmt, so daß Fx1 und Fx3 im selben Brückenarm platziert werden müssen, da sie auf der Vorder- und Rückseite eines Meßsteges appliziert sind.

Die Dehnmeßstreifen Fx2, Fx4, Fx6 und Fx8 erfahren dagegen eine negative Widerstandsänderung. Daher müssen sie in benachbarten Brückenarmen verschaltet werden. Denn in dieser Form wird eine Addition aller Dehnungswerte bewirkt und so die Empfindlichkeit dieser Vollbrücke erhöht.

Ändern sich die Brückenwiderstände R1 bis R4 (R1 = Fx1 + Fx3, R2 = Fx5 + Fx7, etc.) in ihrem Wert um den Betrag ΔR, dann wird die Brückenschaltung "verstümmelt" und zwischen den Punkten +F<sub>x</sub> und -F<sub>x</sub> steht eine Ausgangsspannung U<sub>A</sub> an.

Werden die Meßsteg 1 und 2 durch Seitenkräfte belastet, entstehen Torsionskräfte. Es befinden sich jedoch auf der Vorder- und Rückseite eines Steges zwei in Serie geschaltete Dehnmeßstreifen. Einer erfährt eine positive und der andere eine negative Widerstandsänderung ΔR. Da beide sich im gleichen Brückenarm befinden, kompensieren sie sich gegenseitig und es werden dadurch keine Torsionskräfte bzw. Seitenkräfte gemessen, obwohl sich die entsprechenden Stege verwinden. Durch die beschriebene DMS-Anordnung und Verschaltung wird ein Übersprechen der Kraft- und Momentenkomponenten ausgeschlossen.

Die Dehnmeßstreifen-Schaltung zur Aufnahme der Radaufstandskraft F<sub>z</sub> entspricht in ihrer Wirkungsweise

und Auslegung der Vollbrückenschaltung zur Erfassung der Längskraft  $F_x$ . Acht Dehnmeßstreifen werden auf den zu den Meßstegen 1 bzw. 2 um  $90^\circ$  versetzten Meßstegen 3 und 4 entsprechend Fig. 7a appliziert.

Die Dehnmeßstreifen  $F_{z1}$  bis  $F_{z8}$  erfahren bei einer Kraft in Z-Richtung eine analoge Widerstandsänderung wie die Dehnmeßstreifen  $F_{x1}$  bis  $F_{x8}$ , so daß auf die Arbeitsweise nicht näher eingegangen werden muß.

Insgesamt wird durch die vorgenannte Verschaltung erreicht, daß die Erfassung der Längs- und Radaufstandskräfte beim rotierenden Rad unter Verwendung von zwei identischen, um  $90^\circ$  zueinander versetzten Meßstellen ermöglicht ist. Die Erfassung dieser Kräfte erfolgt im Koordinatensystem des Rades, d. h. bei drehendem Rad ergibt sich ein sinusförmiger Verlauf für  $F_x$  und  $F_z$ . Mit Hilfe eines zeitsynchron erfaßten Raddrehwinkels ist eine Koordinatentransformation möglich und man erhält die auftretenden Kräfte bezogen auf das Fahrzeugkoordinatensystem.

Zur Ermittlung der Seitenkraft  $F_y$  wird eine Vollbrückenschaltung bestehend aus sechzehn Dehnmeßstreifen an den vier Meßstegen 1–4 appliziert, wobei auf der linken und rechten Seite jedes Steges jeweils zwei DMS angeordnet sind. In jedem Brückenast dieser Schaltung befinden sich in Parallelschaltung zwei Paare von in Reihe geschalteten Dehnmeßstreifen, wie dies in den Fig. 8a bzw. 8b dargestellt ist.

Acht der sechzehn applizierten Dehnmeßstreifen, nämlich die mit geraden Indexpzahlen  $F_{y2}$ ,  $F_{y4}$  bis  $F_{y16}$ , erfahren bei Einwirkung einer positiven Seitenkraft (nach innen) die gleiche Widerstandsänderung, also eine positive Dehnung. Die am selben Steg befindlichen Dehnungsmeßstreifen werden in Reihe geschaltet. Die Parallelschaltung erfolgt mit den beiden Dehnmeßstreifen gleicher Widerstandsänderung des nächsten um  $90^\circ$  versetzten Meßsteiges.

Die restlichen mit ungeraden Indexpzahlen vorhandenen Dehnmeßstreifen  $F_{y1}$ ,  $F_{y3}$  bis  $F_{y15}$  erfahren dagegen eine negative Widerstandsänderung (Stauchung), demzufolge werden diese in den benachbarten Brückenast nach demselben Schema wie die vorigen DMS verschaltet. Durch die beschriebene DMS-Anordnung und -Verschaltung wird ein Übersprechen der Längs- und Radaufstandskräfte ausgeschlossen.

Die in den Fig. 8a und 8b dargestellte Vollbrückenschaltung ermöglicht das Erfassen der auf das Rad seitlich wirkenden Belastung unabhängig vom Hebelarm, von Reifenart und Reifengröße.

Das durch die Seiten- und/oder Radaufstandskräfte verursachte Sturzmoment  $M_x$  um die Längsachse X wird unter Verwendung einer Schaltung gemessen, wie sie in den Fig. 9a und 9b dargestellt ist. Diese Schaltung besteht aus 16 Dehnmeßstreifen, welche an den Meßstegen 1 und 2 seitlich appliziert werden. In jedem Brückenast befinden sich vier in Reihe geschaltete Dehnmeßstreifen.

Beim Auftreten eines negativen Sturzmomentes  $M_x$ , das Rad bewegt sich dabei vom positiven in den negativen Sturz, werden bei der Nullgrad-Stellung (Meßsteg 1 oben), die Dehnungsmeßstreifen  $M_{x1}$ ,  $M_{x3}$ ,  $M_{x5}$  und  $M_{x7}$  oben Radinnenseite weisend, in positive Richtung gedehnt. Analog dazu müssen die Dehnmeßstreifen des gegenüberliegenden Brückenastes, um die gleiche Widerstandsänderung zu erzeugen, so plziert werden, daß sie bei Bewegung unten Radaußenseite weisend auch eine positive Dehnung erfahren.

Auf diese Weise werden nicht die Seitenkräfte erfaßt, sondern nur das von ihnen verursachte Moment  $M_x$ .

Betrachtet man die Dehnmeßstreifen zur Ermittlung der Seitenkraft  $F_y$  am Meßsteg 1, so liegen sie genau spiegelbildlich zu dem vom Meßsteg 2. Die Dehnmeßstreifen des Moments  $M_x$  dagegen, liegen auf Meßsteg 1 und 2 nicht symmetrisch zueinander. Durch diese ausgewählte Lage der Dehnmeßstreifen wird das Übersprechen der anderen Belastungen auf das Moment  $M_x$  vermieden.

Die restlichen Dehnmeßstreifen werden dementsprechend in den benachbarten Brückenast verschaltet. Es ist auch zu erkennen, daß an jeder Meßstegseite zwei der vier in Reihe verschalteten Dehnmeßstreifen zu finden sind. Dies trägt zur besseren Empfindlichkeit der Brückenschaltung und so der Signalgüte bei.

Die Verschaltung zur Ermittlung des Rückstellmomentes  $M_z$  entspricht in ihrer Auslegung und Wirkungsweise in analoger Weise der Vollbrückenschaltung des Sturzmomentes  $M_x$ .

Dies ist in den Fig. 10a und 10b zum Ausdruck gebracht, wobei für die Dehnmeßstreifen  $M_{z1}$  bis  $M_{z16}$  die Ausführungen analog zu den Ausführungen bezüglich des Sturzmomentes  $M_x$  entsprechend gelten.

Bei Einwirkung eines positiven Rückstellmomentes um die Hochachse Z gegen den Uhrzeigersinn bei der Nullgrad-Stellung betrachtet, erfahren acht der sechzehn Dehnmeßstreifen eine positive Widerstandsänderung (Dehnung), nämlich die Widerstände mit geraden Indexpzahlen  $M_{z2}$  bis  $M_{z16}$ . Die restlichen werden in negativer Richtung gedreht (Stauchung). Es werden die Dehnmeßstreifen mit gleicher Widerstandsänderung, die sich an einem Meßsteg befinden, wie beim Sturzmoment, in Reihe geschaltet.

Da diese Dehnmeßstreifen-Schaltung um  $90^\circ$  zu der vom Sturzmoment versetzt an den Meßstegen 3 und 4 liegt, wird sichergestellt, zwei identische Meßstellen zu schaffen, die während der Umdrehung der Radmeßnabe abwechselnd das Sturz- und das Rückstellmoment ermitteln.

Demzufolge müssen sich bei der Aufzeichnung der Signale während einer Raddrehung unter Belastung für beide Meßstellen zwei um  $90^\circ$  zueinander versetzte Sinuswellen ergeben. Mit geeigneten Rechenverfahren können dann über die Winkelfunktion bezogen auf das Fahrzeugkoordinatensystem das Sturzmoment  $M_x$  und das Rückstellmoment  $M_z$  ermittelt werden.

Eine sehr wichtige Meßgröße stellt das Brems-Antriebsmoment  $M_y$  dar. Es ist in der Fahrzeugentwicklung für die Dimensionierung und Erprobung verschiedener Antriebs- und Fahrwerksbauteile notwendig.

Zur Erfassung des Momentensignals werden gemäß den Fig. 11a und 11b sechzehn Dehnmeßstreifen in einer Vollbrücke verschaltet. Es werden auf der Vorder- und Rückseite aller vier Meßstege 1–4 jeweils vier Dehnmeßstreifen appliziert. In jedem Brückenast befinden sich gemäß Fig. 11b vier in Reihe geschaltete Dehnmeßstreifen, zwei davon werden auf denselben Stegen und die anderen zwei auf den nächsten um  $90^\circ$  versetzten Meßstegen angebracht.

Die Längskraft selbst wird von dieser Schaltung nicht gemessen, sondern nur das von ihr verursachte Bremsmoment.

Bei Einwirkung eines positiven Bremsmomentes im Uhrzeigersinn, beispielsweise an einem rechtsmontierten Vorderrad eines Kraftfahrzeugs, erfahren alle Dehnmeßstreifen der zueinander gegenüberliegenden Brückenäste die gleiche Widerstandsänderung. In diesem Fall erfahren die Dehnmeßstreifen mit geraden Indexpzahlen  $M_{y2}$  bis  $M_{y16}$  eine positive Dehnung. Die



restlichen mit ungeraden Indexzahlen My1 bis My15 erfahren dagegen eine negative Widerstandsänderung.

Es wird dadurch ermöglicht, daß sich die Dehnungswerte aller beteiligten aktiven Dehnmeßstreifen addieren, und so die sehr gute Empfindlichkeit dieser Vollbrücke gewährleistet wird. Wäre der Körper mit Halb- bzw. Viertelbrücken versehen, so würde man bei gleicher Belastung nur das halbe bzw. viertelte Ausgangssignal erzielen. Durch die Verwendung von vier aktiven Brückenzweigen desselben Widerstandswertes besitzt diese Verschaltung, genauso wie die vorigen fünf Vollbrücken mit ebenfalls vier aktiven Zweigen, den Brückenfaktor 4.

Insgesamt wurden auf allen vier Meßstegen 1–4 achtzig Dehnungsmessstreifen angeordnet.

Mit der vorliegenden Radmeßnabe wurde ein System geschaffen, das in der Lage ist, alle sechs Komponenten der auftretenden Radkräfte und Radmomente einwandfrei und zeitsynchron zu erfassen.

Bei Messungen, welche die Betriebslasten ohne Übersprechen hysteresefrei an einem Kraftfahrzeug aufzelen sollen, werden alle vier Räder des Kraftfahrzeugs mit den vorgenannten Radmeßnaben bestückt. Anschließend werden die im Fahrbetrieb ermittelten Betriebslasten auf servohydraulischen Prüfständen simuliert. Dazu werden mit einem ITFC- bzw. RPC-Prozeß (ITFC = Iterative-Transfer-Function-Compensation, RPC = Remote-Parameter-Control) die Ansteuerdaten so lange neu berechnet und geändert, bis die Soll- (Fahrbetrieb) mit den Ist- (Prüfstandssimulation) übereinstimmen. Für diesen Vorgang und der daraus resultierenden Güte eines Betriebslasten-Nachfahrversuches ist es notwendig, Soll- und Istwerte am gleichen Meßort zu erfassen. Dieser Forderung wird durch den Einsatz der Mehrkomponenten-Radmeßnabe genügt.

Die simultane Aufzeichnung von Längs- und Seitenkraft, Radlast, Rückstell-, Sturz- und Antriebs- bzw. Bremsmoment ist möglich. Die eigentlichen Meßgeber des Meßwertaufnehmers sind die vier speichenförmig (jeweils um 90° versetzt) angeordneten und mit Dehnmeßstreifen bestückten Dehnmeßstege, wobei nur Schubspannungen ermittelt werden.

Die Radmeßnabe ist ein komplexes Meßsystem zur Signalerfassung, -aufbereitung und Bereitstellung der Meßwerte in Form bitserieller Daten vor Ort, deren Übertragung zum Fahrzeug beispielsweise mittels IR-Telemetrie erfolgt. Empfängerseitig stehen nach Decodierung, Wandlung und Verrechnung bezogen auf das Fahrzeugkoordinatensystem die Meßdaten sowohl in analoger Form als auch digital, bitseriell zur Verfügung.

Die Spannungsversorgung des rotierenden Teils des Systems ist mittels induktiver Leistungsübertragung gewährleistet.

Für die Winkelerfassung und Drehrichtungserkennung sind ein Impulsring 27 (Fig. 2) und zwei aktive Hall-Sensoren (nicht dargestellt) sowie eine entsprechende Steuerelektronik vorgesehen. Der Impulsring 27 wird an der Innenseite des Rades angeordnet, die Hall-Sensoren werden über einfache Halterungen an Fahrwerkskomponenten befestigt. Bei einigen bisher eingesetzten Radmeßnabensystemen wurde der Sensor zur Bestimmung des Radwinkels über Haltebügel fixiert (z. B. an der Vorderachse am Federbeinstandrohr). Sturzwinkeländerungen, hervorgerufen durch Lenkmanöver, beeinflussen das Radwinkelsignal. Die Verfälschung wird durch den Einsatz des Impulsringes zur Bestimmung der Radposition vermieden.

Das Gesamtgewicht der Radmeßnabe ist gering, da-

mit bei dynamischen Messungen Masseverfälschungen klein bleiben. Dabei ist das Gewicht an dasjenige der Originalräder angenähert worden, wobei zu beachten ist, daß es sich um ein Sicherheitsbauteil handelt, das ausreichend dimensioniert werden muß und eine lange Lebensdauer haben soll. Aus diesen Gründen ist in der Konstruktions- und Optimierungsphase des Meßkörpers eine Finite Elemente Berechnung durchgeführt worden. Während der Inbetriebnahme des Meßsystems wurden umfangreiche Betriebsfestigkeitsuntersuchungen auf Räderprüfständen durchgeführt.

Bei der Wahl der Werkstoffe sind die Anforderungen hinsichtlich Funktion, Beanspruchung und Lebensdauer berücksichtigt worden sowie die Herstellungskosten.

Werkstoffe für Meßwertaufnehmer auf Dehnmeßstreifen-Basis müssen gleichzeitig eine hohe Empfindlichkeit sowie eine ausreichende Biegegewichsefestigkeit aufweisen. Da diese Eigenschaften entgegengesetzt sind, muß ein Kompromiß gefunden werden. Um dies zu erreichen wird ein Werkstoff gewählt, der einen mittleren E-Modul hat und hohe Festigkeitswerte aufweist. Der Meßkörper muß außerdem so gestaltet werden, daß er an den zu messenden Stellen die höchste Empfindlichkeit besitzt und an den übrigen Stellen steifer dimensioniert ist.

Eine gute Meßsignalauflösung bei geringem Übersprechen der einzelnen Komponenten wird verlangt.

Da die Radkräfte im umlaufenden Koordinatensystem gemessen werden, muß eine Koordinaten-Transformation in das fahrzeugfeste Koordinatensystem erfolgen. Aus diesem Grund muß die absolute Winkelstellung des Rades in bezug auf das Fahrzeug-Koordinatensystem ständig erfaßt werden.

Da es sich bei dem Winkelcodierer um einen Inkrementalgeber handelt, muß die Richtung der Raddrehung erfaßt werden, um zu vermeiden, daß im Vorzeichen unterschiedliche Winkeländerungen des Rades aufaddiert und fälschlicherweise als Drehung interpretiert werden.

Aus der Kombination von Drehrichtung und Impulsen des Inkrementalgebers ergibt sich die absolute Winkelstellung des Rades. Diese ist Grundlage für die oben genannte Transformation.

Die auftretenden thermischen Belastungen, hervorgerufen durch hohe Bremscheibentemperaturen z. B. durch Folgebremungen aus hohen Geschwindigkeiten oder danach im Stand dürfen nicht zu einem Ausfall des Meßsystems führen. Der Meßwertaufnehmer mit integrierter Elektronik muß gut von der Luft umströmt werden. Wärmestaus sind zu vermeiden. Außerdem ist darauf zu achten, daß die thermischen Verhältnisse der Bremsanlage (Temperaturniveau, Kühlleistung) dem Serienstand sehr nahe kommen. Nur wenn diese Bedingungen erfüllt sind, sind die gemessenen Bremsmomente und -kräfte repräsentativ.

Aus diesem Grund soll die Radmeßnabe nur im Bereich der vier Meßstege abgedeckt werden, um eine bessere Umströmung zu gewährleisten und einen Ausfall des Meßsystems zu vermeiden.

In einem ringförmigen Gehäuse 24 (Fig. 2) im Meßwertaufnehmer 5 befinden sich auf mehreren übereinanderliegenden Ringplatten die Verschaltungen der sechs Dehnmeßstreifen-Brücken, die analoge Signalaufbereitung und -wandlung, die Schaltungen zur Spannungsstabilisierung und zur Brückenversorgung.

Die Datenübertragung erfolgt mittels IR-Übertragung. Beispielsweise ist im inneren Ringteil 12 des Meßwertaufnehmers 5 ein zylindrisches Gehäuse 23 ange-

ordnet, in dem die optoelektronische Strecke zur Datenübertragung vom Stator zum Rotor und das Spulensystem mit zugehöriger Elektronik zur Leistungsübertragung vom Stator zum Rotor untergebracht ist.

Die Spannungsversorgung des rotierenden Teils des Systems erfolgt mittels induktiver Übertragung.

Empfängerseitig werden nach Decodierung, Wandlung und Verrechnung die Meßdaten sowohl in analoger Form als auch digital, bitparallel und wortseriell zur Verfügung gestellt.

Die Ausführung der gesamten Elektronik erfolgt in stromsparender SMD-Technik und sorgt für eine Reduzierung des Gesamtvolumens und Gewichts.

Durch die Zusammenschaltung der Dehnmeßstreifen zu Vollbrücken gelingt eine einwandfreie Trennung der Komponenten. Die Anzahl der Stege ist mit Einschränkung frei wählbar, jedoch ist vorliegend infolge einer Optimierung auf einen entsprechenden Anwendungsfall hin eine Meßsteganzahl von vier gewählt worden. Die Verwendung der modernen PCM-Telemetrie mit Infrarot-Übertragungsstrecke garantiert höchste Störsicherheit und Genauigkeit. Der Vorteil berührungsloser Übertragungsstrecken gegenüber Schleifring-Drehübertragern ist der geringe Platzbedarf, niedriges Gewicht und verschleißfreie Arbeitsweise.

In Fig. 3 ist ein Blockschaltbild für die Signalaufbereitung und -verarbeitung dargestellt, wobei ein Teil am rotierenden Teil der Radmeßnabe angeordnet ist und ein anderes Teil feststeht.

Die Signale werden übertragen, decodiert und die Meßwerte werden on-line vom rotierenden Koordinatensystem des Rades auf das Koordinatensystem des Fahrzeugs umgerechnet. Dazu wird die Winkelstellung des Rades zeitsynchron zur Aufnahme der Meßsignale erfaßt.

In einer beispielsweise im Fahrzeug vorhandenen Verrechnungseinheit werden die Meßwerte mit einem Mikroprozessor verrechnet. Nach der Synchronisierung ergibt sich eine zeitliche Zuordnung der Meßwerte zum Raddrehwinkel. Auf diese Art und Weise erhält man die von der Radstellung unabhängigen Absolutkräfte im Fahrzeugkoordinatensystem.

Prinzipiell werden neben dem Meßwertaufnehmer eine modifizierte Felge, ein Radflansch und eine PCM-Telemetrieübertragungseinrichtung sowie ein Impulsring und zwei Hall-Sensoren zur Bestimmung der Winkelstellung des Rades gemäß der vorgenannten Ausführungsform benötigt.

Der vom Rad aufgenommene Kraftfluß verläuft über die Felge auf das äußere Ringteil 10 des Meßkörpers, weiter über die vier Meßstege auf das innere Ringteil 12 der Radmeßnabe, dann auf den Radflansch.

Der Querschnitt der Stege muß ausreichend dimensioniert sein, damit die resultierenden Spannungen bei maximal auftretenden Belastungen oder Belastungskombinationen unter der Fließgrenze bzw. Elastizitätsgrenze des Werkstoffs liegen. Plastische Verformungsanteile würden den Aufnehmer für die geplante Anwendung unbrauchbar machen.

#### Patentansprüche

1. Radmeßnabe mit einem Meßwertaufnehmer (5), der ein äußeres (10) und ein inneres Ringteil (12) umfaßt,  
- wobei an dessen äußerem Ringteil (10) eine Felge anordenbar ist,  
- an dessen innerem Ringteil (12) ein Rad-

flansch anordenbar ist und

- beide Ringteile über radial verlaufende Meßstege (14) miteinander verbunden sind,  
- an denen Dehnmeßstreifen (16) zur Bestimmung von zu messenden Kräften und Momenten angeordnet sind dadurch gekennzeichnet, daß die Dehnmeßstreifen derart angeordnet, ausgerichtet und miteinander verschalten sind, daß alle Kräfte und Momente über die bei Belastung auftretenden Schubspannungen zu ermitteln sind.

2. Radmeßnabe nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß im Bereich des Übergangs zwischen den Meßstegen und dem äußeren Ringteil Durchbrüche oder Langlöcher (32) angeordnet sind.

3. Radmeßnabe nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, daß die Länge und Dimensionierung der Durchbrüche oder Langlöcher (32) so abgestimmt ist, daß eine Kräfte- und Momententrennung sowie eine hohe Meßempfindlichkeit erreicht wird.

4. Radmeßnabe nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß eine Übertragungseinrichtung vorgesehen ist, welche durch die Dehnmeßstreifen gewonnene Daten von der rotierenden Radmeßnabe auf ein fahrzeugfestes Teil überträgt.

5. Radmeßnabe nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, daß die Übertragungseinrichtung eine Infrarot-Telemetrie-Übertragungseinrichtung ist.

6. Radmeßnabe nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Stromversorgung über Induktionsschleifen vorgesehen ist.

7. Radmeßnabe nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß zur Ermittlung der Winkelstellung und/oder Drehrichtung des Meßwertgebers zumindest ein Hallsensor vorgesehen ist, der mit einem mit dem Meßwertaufnehmer (5) verbundenen Impulsring (27) zusammenwirkt.

8. Radmeßnabe nach Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet, daß der Impulsring (27) ferromagnetisch ist.

9. Radmeßnabe nach Anspruch 7 oder 8, dadurch gekennzeichnet, daß der Impulsring (27) eine Codierung zur Bestimmung des 0° Winkels des Meßsystems aufweist.

10. Radmeßnabe nach einem der Ansprüche 7 bis 9, dadurch gekennzeichnet, daß der Impulsring am äußeren Ringteil (10) des Meßwertaufnehmers befestigt ist.

11. Radmeßnabe nach einem der Ansprüche 7 bis 10, dadurch gekennzeichnet, daß zwei Hallsensoren vorgesehen sind, die derart zueinander winkalversetzt sind, um eine Drehrichtungserfassung zu ermöglichen.

12. Radmeßnabe nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß der im inneren Ringteil (12) vorhandene Einbauraum zur Aufnahme der Steuerungs- und Auswertelektronik hermetisch dicht ist.

13. Radmeßnabe nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Steuerungs- und Auswertelektronik die Kräfte und Momente in Echtzeit (on-line) vom rotierenden Koordinatensystem des Rades auf das Fahrzeugkoordinatensystem umrechnet.

14. Radmeßnabe nach einem der vorhergehenden



Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß eine im inneren Ringteil (12) aufgenommene Steuerungs- und Auswertevorrichtung vorgesehen ist.

15. Radmeßnabe nach einem der vorhergehenden Ansprüche dadurch gekennzeichnet, daß die Längskraft  $F_x$  mittels Dehnmeßstreifen (16) bestimmt wird, welche an zur Fahrtrichtung senkrecht stehenden Meßstegen (14) und dort an Meßstegflächen angeordnet sind, die parallel zu einer Radialebene des Meßwertaufnehmers ausgerichtet sind.

16. Radmeßnabe nach Anspruch 15, dadurch gekennzeichnet, daß bei der Verwendung von vier Meßstegen (14) die Dehnmeßstreifen (16) in einer Vollbrückenschaltung verschaltet sind und in den vier Zweigen der Vollbrückenschaltung jeweils zwei in Serie geschaltete Dehnmeßstreifen vorgesehen sind, wobei die zwei Dehnmeßstreifen eines Zweiges an den einander gegenüberliegenden Flächen eines Meßsteges (14) angeordnet sind.

17. Radmeßnabe nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Radauflaufkraft  $F_z$  mittels Dehnmeßstreifen (16) bestimmt wird, welche an in Fahrtrichtung ausgerichteten Meßstegen (14) und dort an Meßstegflächen angeordnet sind, die parallel zur Radialebene des Meßwertaufnehmers ausgerichtet sind.

18. Radmeßnabe nach Anspruch 17, dadurch gekennzeichnet, daß bei der Verwendung von vier Meßstegen (14) die Dehnmeßstreifen (16) in einer Vollbrückenschaltung verschaltet sind und in den vier Zweigen jeweils zwei in Serie geschaltete Dehnmeßstreifen (16) angeordnet sind, wobei die zwei Dehnmeßstreifen eines Zweiges an den einander gegenüberliegenden Flächen eines Meßsteges vorgesehen sind.

19. Radmeßnabe nach einem der vorhergehenden Ansprüche dadurch gekennzeichnet, daß die Radseitenkraft  $F_y$  mittels Dehnmeßstreifen (16) bestimmt wird, welche an allen Meßstegen und dort an jeweils zur Radialrichtung des Meßwertgebers senkrechten Flächen angeordnet sind.

20. Radmeßnabe nach Anspruch 19, dadurch gekennzeichnet, daß bei der Verwendung von vier Meßstegen (14) die Dehnmeßstreifen (16) in einer Vollbrückenschaltung verschaltet sind und jeweils zwei in Reihe geschaltete Dehnmeßstreifen (16) in einem Zweig der Vollbrückenschaltung parallel geschaltet sind, wobei die beiden Dehnmeßstreifen (16) in einer jeweiligen Reihenschaltung an den gegenüberliegenden Flächen jeweils eines Meßsteges angeordnet sind und die beiden einer Parallelschaltung der jeweiligen Reihenschaltungen in einem Zweig der Vollbrücke zugeordneten Meßstege aufeinander senkrecht stehen.

21. Radmeßnabe nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß das Sturzmoment  $M_x$  mittels Dehnmeßstreifen (16) bestimmt wird, welche an den senkrecht zur Fahrtrichtung ausgerichteten Meßstegen (14) und dort an jeweils zur Radialachse des Meßwertgebers senkrechten Flächen angeordnet sind.

22. Radmeßnabe nach Anspruch 21, dadurch gekennzeichnet, daß bei der Verwendung von vier Meßstegen (14) die Dehnmeßstreifen (16) in einer Vollbrückenschaltung verschaltet sind und in jedem Zweig der Vollbrückenschaltung vier Dehnmeßstreifen (16) in Reihe geschaltet sind, von denen

jeweils zwei auf gegenüberliegenden Seiten eines Meßsteges (14) angeordnet sind.

23. Radmeßnabe nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß das Rückstellmoment  $M_z$  mittels Dehnmeßstreifen (16) bestimmt wird, welche an in Fahrtrichtung ausgerichteten und dort an jeweils zur Radialrichtung des Meßwertgebers senkrechten Meßstegflächen angeordnet sind.

24. Radmeßnabe nach Anspruch 23, dadurch gekennzeichnet, daß bei der Verwendung von vier Meßstegen (14) die Dehnmeßstreifen (16) in einer Vollbrückenschaltung verschaltet sind und in jedem Zweig der Vollbrückenschaltung vier Dehnmeßstreifen (16) in Reihe geschaltet sind, von denen jeweils zwei auf gegenüberliegenden Seiten eines Meßsteges angeordnet sind.

25. Radmeßnabe nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß das Bremsmoment  $M_y$  mittels Dehnmeßstreifen (16) bestimmt wird, welche an allen Meßstegen (14) und dort an jeweils zur Radialebene des Meßwertaufnehmers parallelen Meßstegflächen angeordnet sind.

26. Radmeßnabe nach Anspruch 25, dadurch gekennzeichnet, daß bei der Verwendung von vier Meßstegen (14) die Dehnmeßstreifen (16) in einer Vollbrückenschaltung verschaltet sind und in jedem Zweig der Vollbrückenschaltung vier Dehnmeßstreifen (16) in Reihe geschaltet sind, von denen zwei Dehnmeßstreifen auf einander gegenüberliegenden Seiten eines Meßsteges und die anderen zwei auf den einander gegenüberliegenden Seiten eines um  $90^\circ$  winkelfersetzten Meßsteges angeordnet sind.

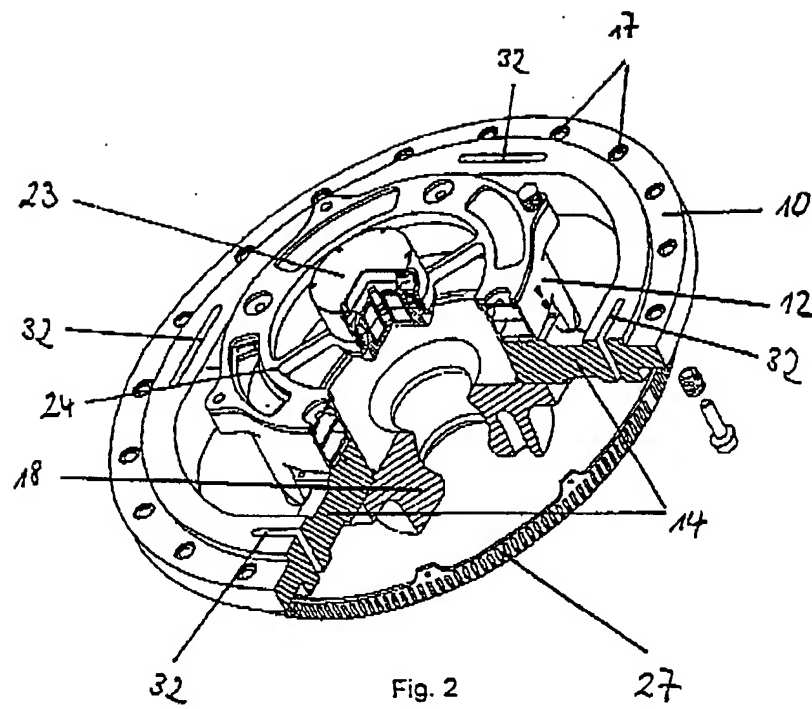
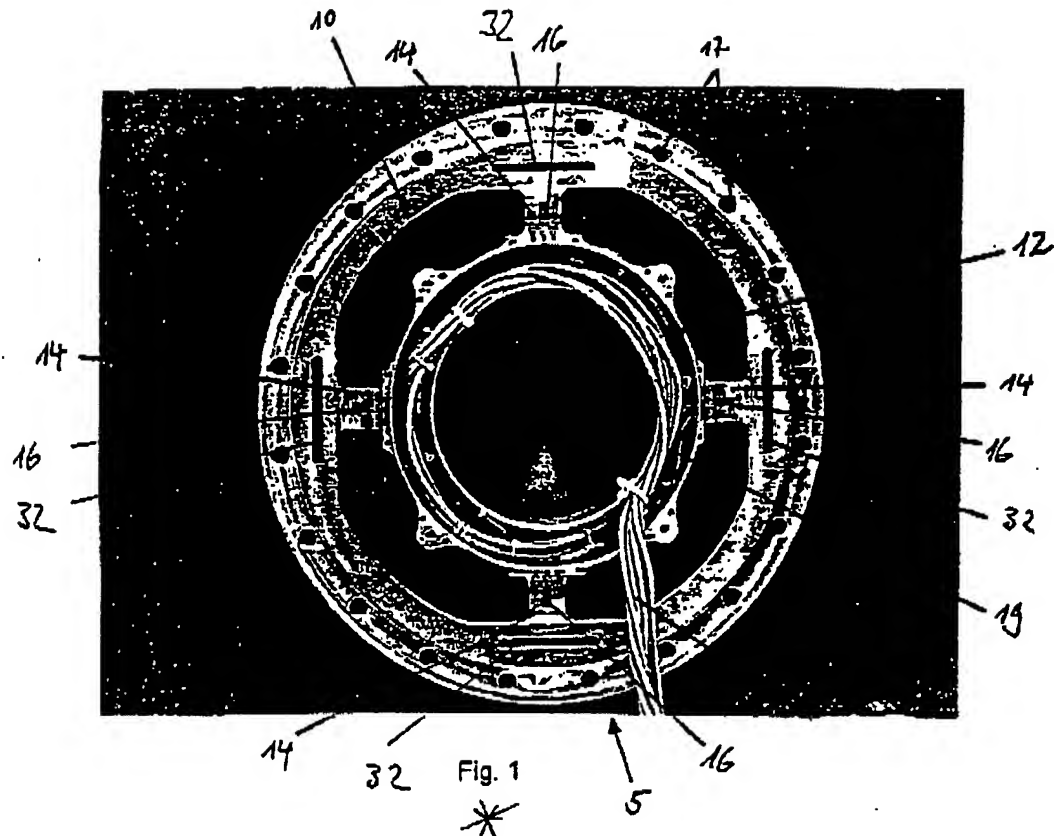
27. Radmeßnabe nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die auf den Meßstegen angeordneten Dehnmeßstreifen abgedeckt sind.

28. Radmeßnabe nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Verschaltung der einzelnen Dehnmeßstreifen zu den Brückenschaltungen auf einer ringförmigen Platine ausgeführt ist.

29. Radmeßnabe nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß vier Meßstege (14) vorgesehen sind, die jeweils um  $90^\circ$  winkelfersetzt sind.

Hierzu 9 Seite(n) Zeichnungen

- Leerseite -



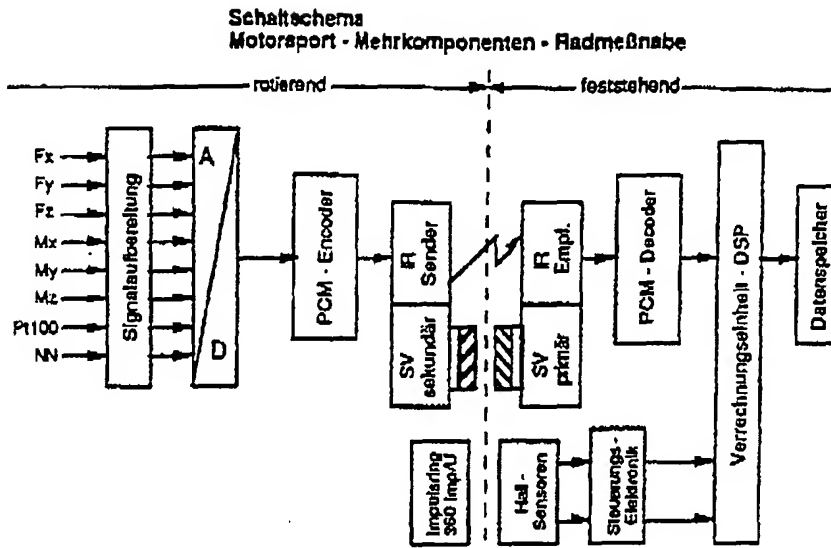


Fig. 3

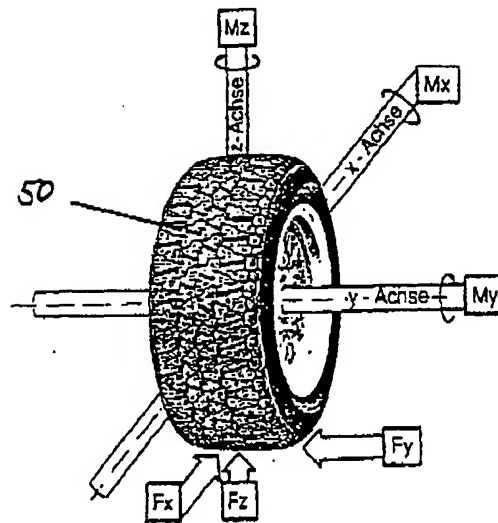


Fig. 4

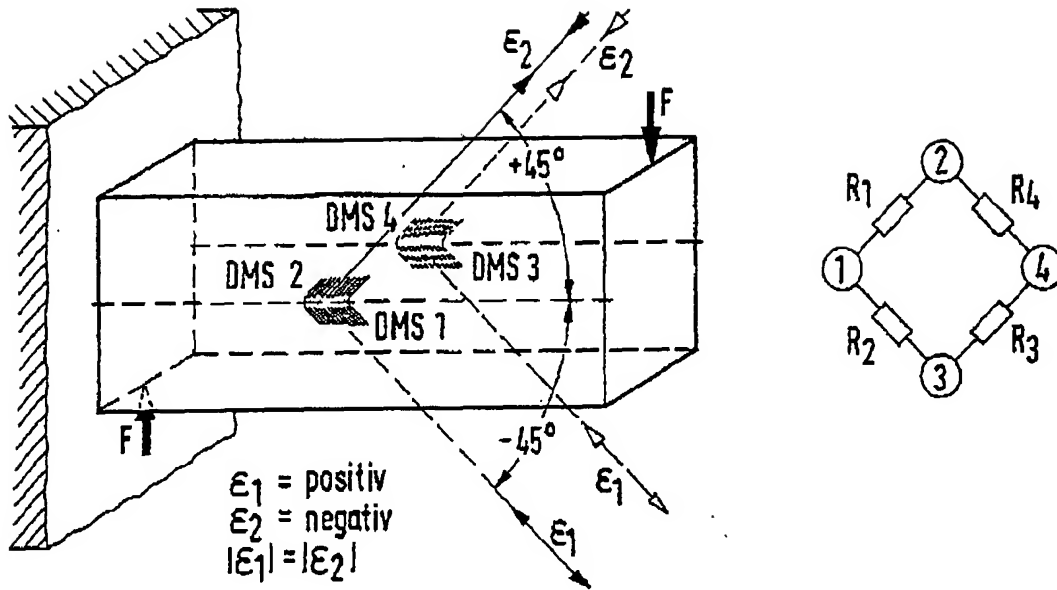


FIG. 5

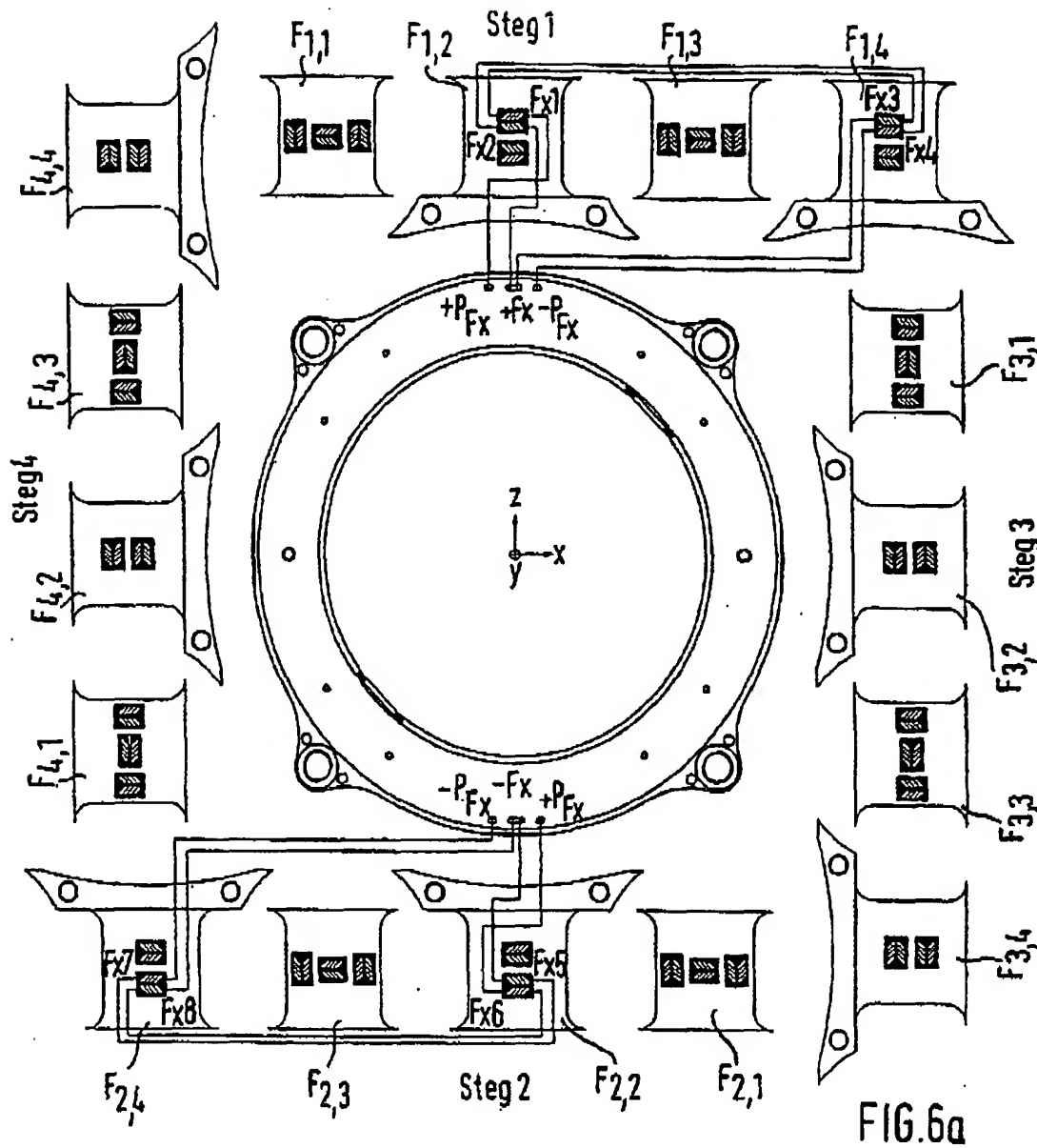


FIG. 6a

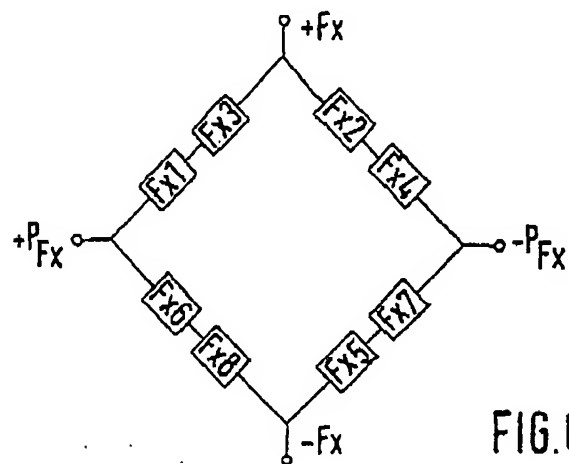


FIG. 6b



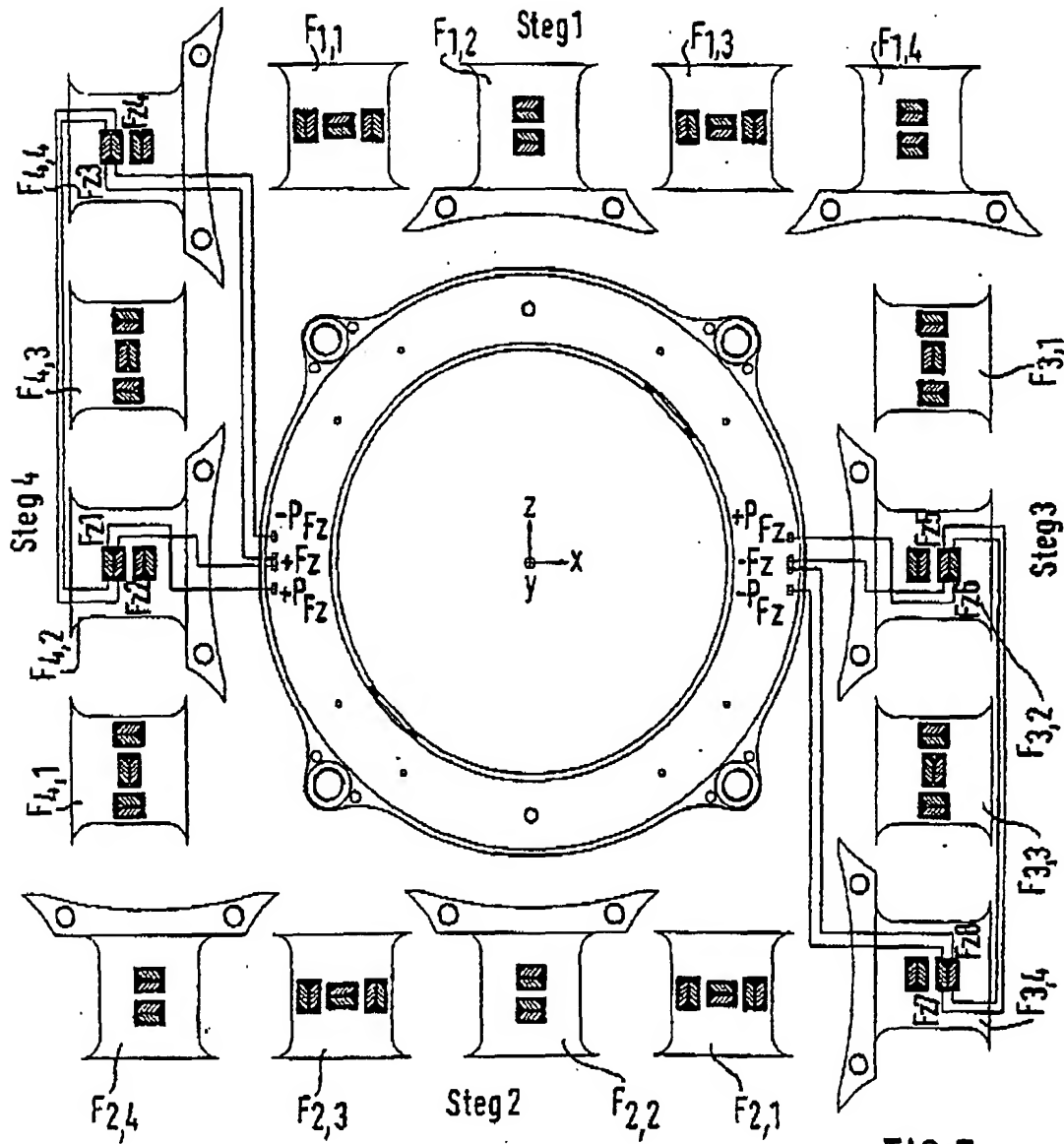


FIG. 7a

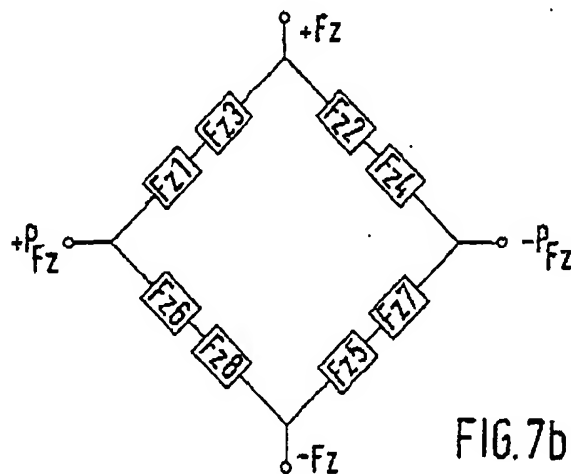


FIG. 7b

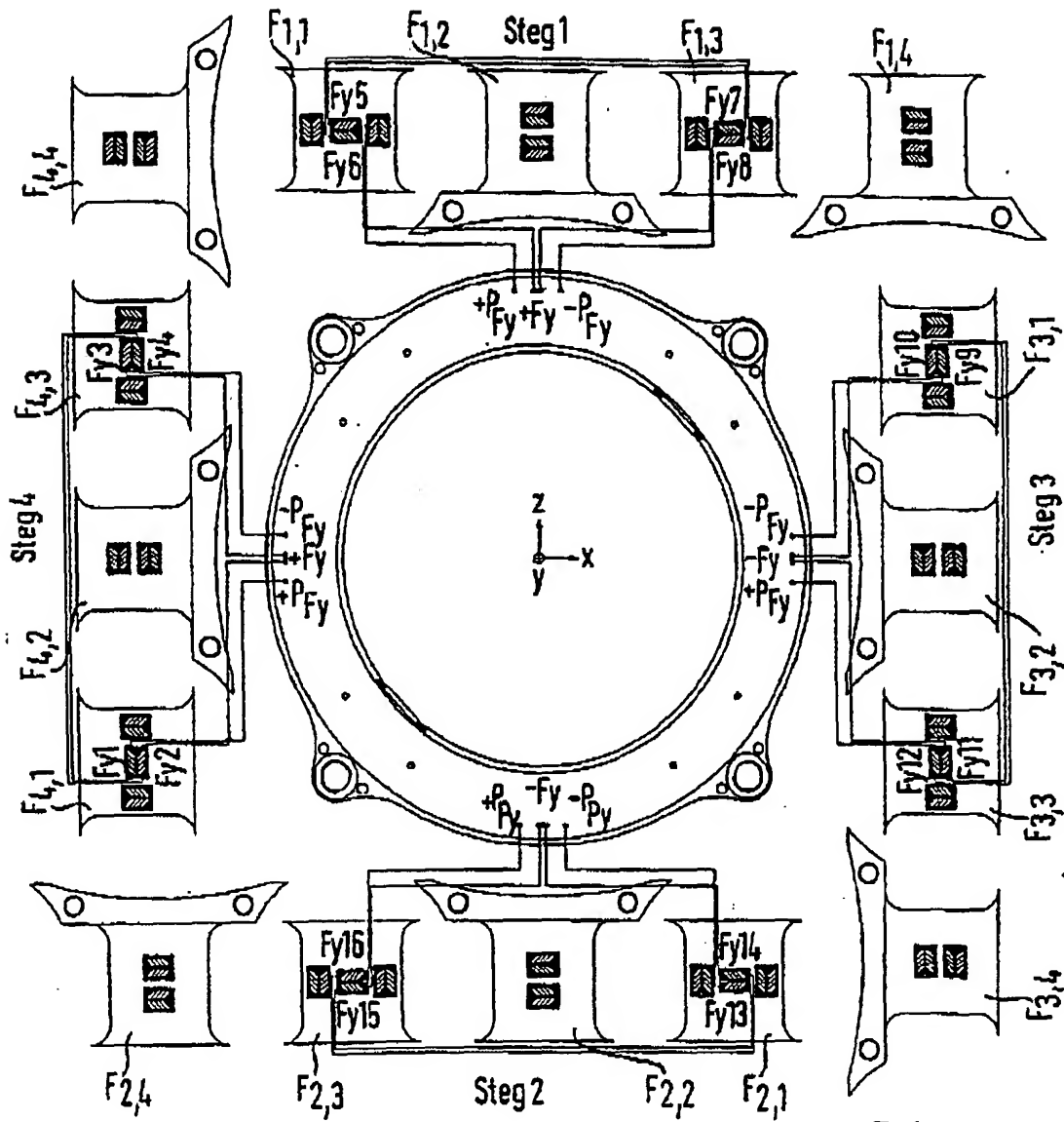


FIG. 8a

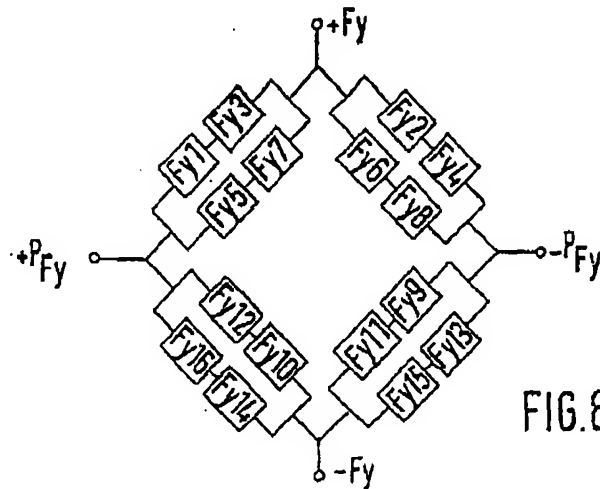
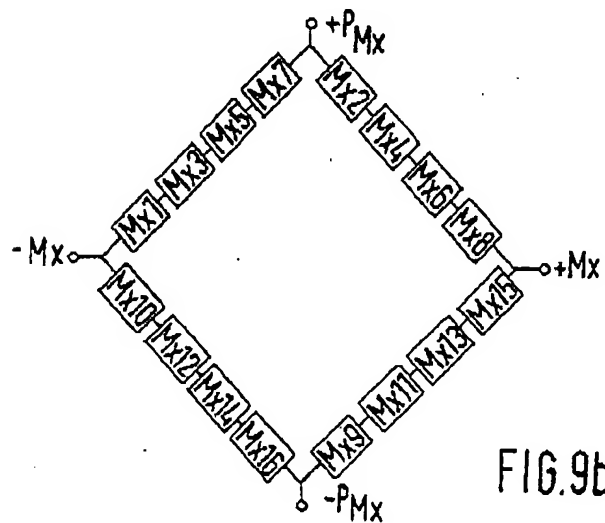
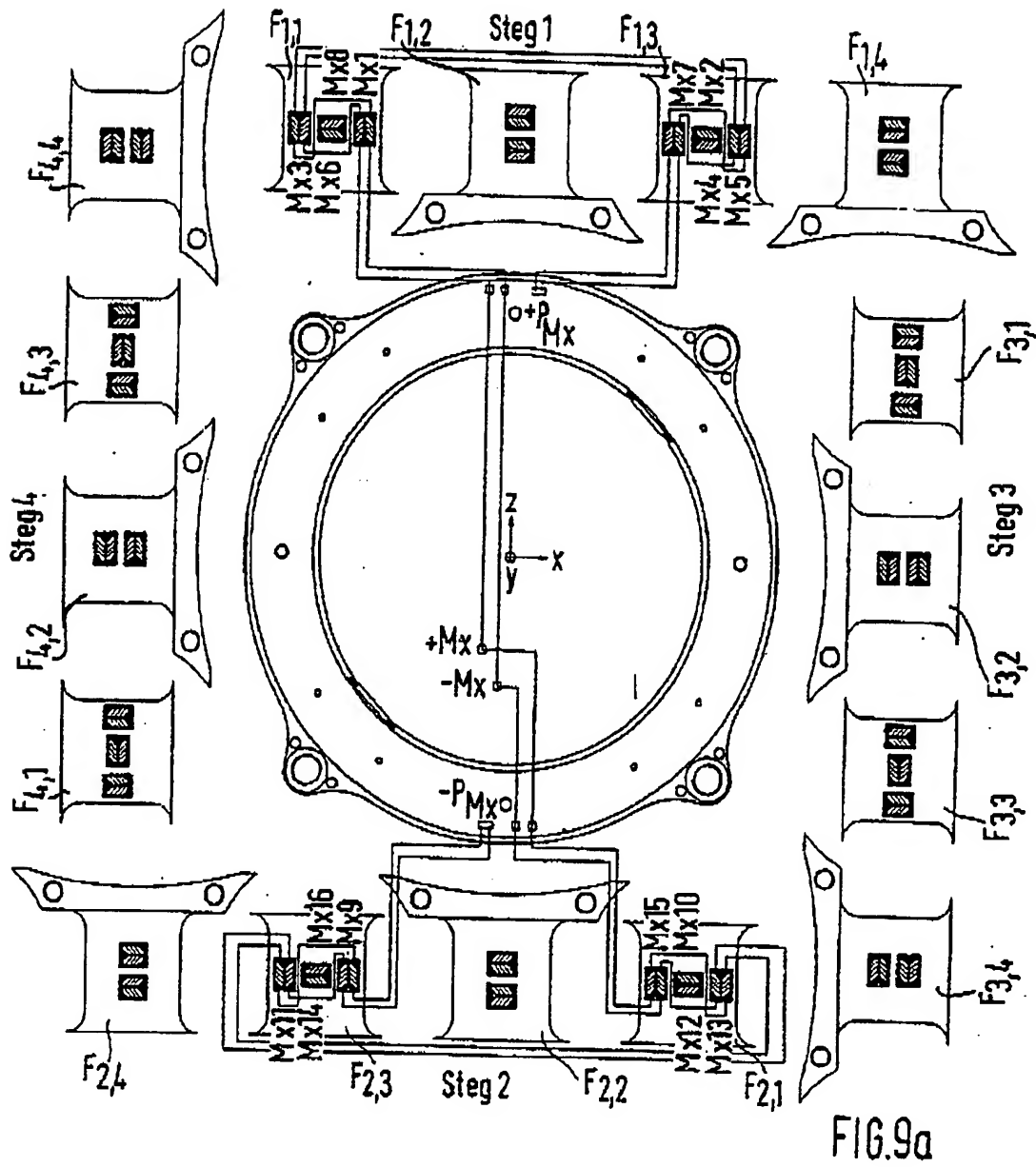
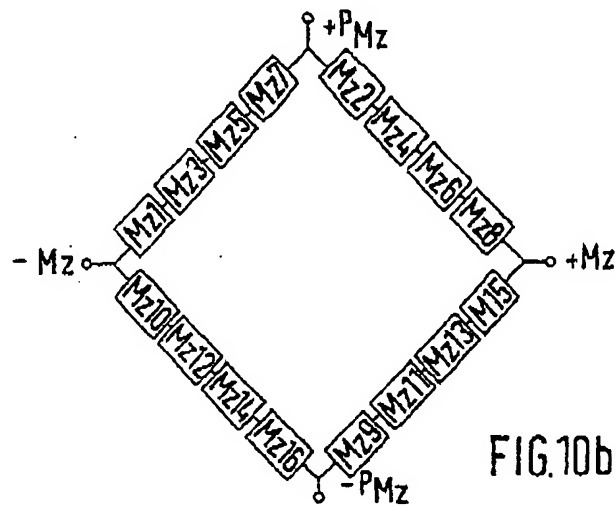
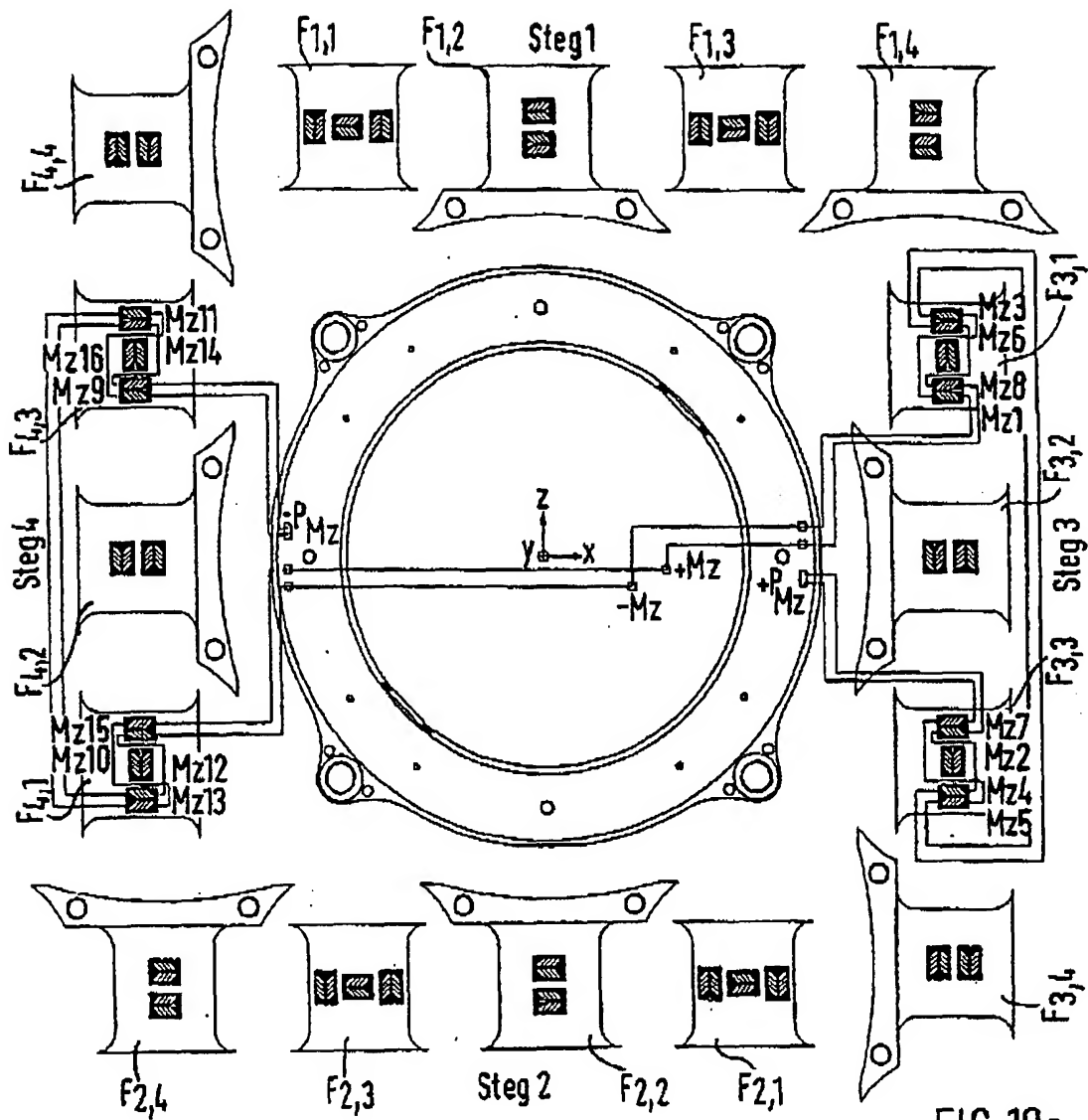


FIG. 8b





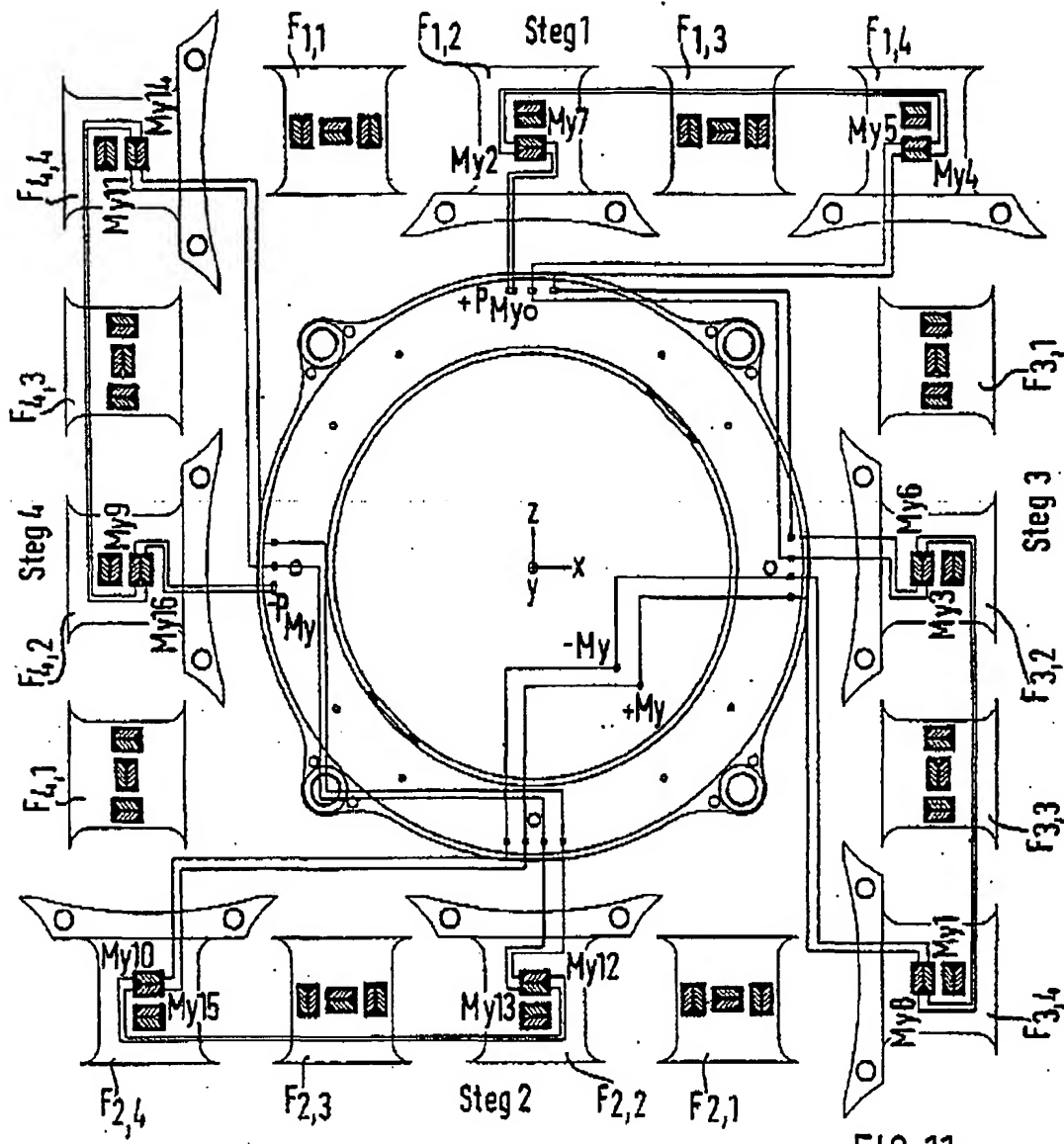


FIG. 11a

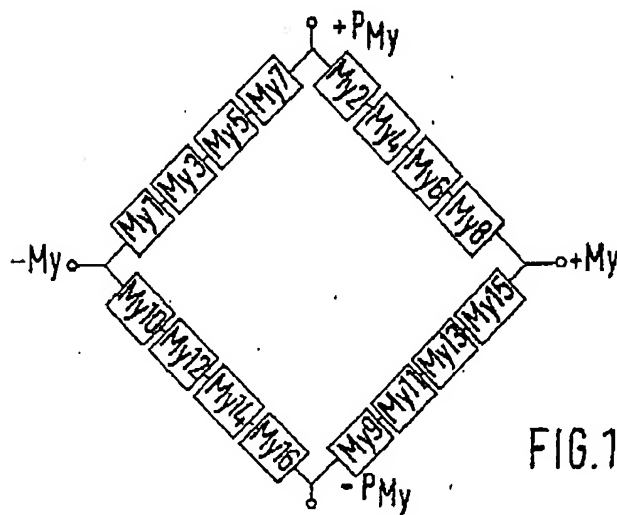


FIG. 11b